

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
16. Oktober 2003 (16.10.2003)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 03/085143 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: C22C
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE03/01124
- (22) Internationales Anmeldedatum:  
4. April 2003 (04.04.2003)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:  
102 15 124.5 5. April 2002 (05.04.2002) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von  
US): WME GESELLSCHAFT FÜR WINDKRAFT-  
BETRIEBENE MEERWASSERENTSALZUNG MBH  
[DE/DE]; Dorfstrasse 38, 18556 Dranske/Rügen (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): PLANTIKOW, Ulrich  
[DE/DE]; Lipowskystrasse 20, 81373 München (DE).
- (74) Anwalt: KUHNEN & WACKER; Patent- und Recht-  
sanwaltsbüro, Prinz-Ludwig-Strasse 40A, 85354 Freising  
(DE).

(81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (regional): ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

## Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: EVAPORATOR TUBE FOR A SEA WATER DESALINATION PLANT

(54) Bezeichnung: VERDAMPFERROHR FÜR EINE MEERWASSERENTSALZUNGSANLAGE

(57) Abstract: The invention relates to an evaporator tube for a sea water desalination plant by means of which, particularly in areas with few fresh water reserves, drinking water or industrial water is obtained from the sea. The inventive evaporator tube is characterized in that it is made of steel that is resistant to sea water while also being resistant to acid, and in that it has a wall thickness ranging from 0.1 mm to 0.5 mm. The inventive evaporator tube can be economically produced and employed and is characterized by having a high resistance to corrosion with a good heat transfer due to the thin wall, and by a good resistance to low pH values. In addition, a formation of scale on the evaporator tube can be reliably prevented. The evaporator tube is thus also suited for an economical use in non-continuously operated sea water desalination plants such as wind power-operated sea water desalination plants.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verdampferrohr für eine Meerwasserentsalzungsanlage, mittels welcher insbesondere in Gebieten mit geringen Süßwasserreserven Trink- bzw. Brauchwasser aus dem Meer gewonnen wird. Das erfindungsgemäße Verdampferrohr zeichnet sich dabei dadurch aus, dass es aus einem gegen Meerwasser beständigen und zugleich säurefesten Stahl ausgebildet ist, und dass es eine Wandstärke zwischen 0,1 mm und 0,5 mm aufweist. Das erfindungsgemäße Verdampferrohr lässt sich wirtschaftlich bereitstellen und einsetzen, und zeichnet sich insbesondere durch eine hohe Korrosionsfestigkeit bei gutem Wärmedurchgang aufgrund der dünnen Wandung sowie durch eine gute Beständigkeit gegenüber niedrigen pH-Werten aus. Zudem kann eine Belagsbildung auf den Verdampferrohren zuverlässig verhindert werden. Es ist daher auch für einen wirtschaftlichen Betrieb in nicht kontinuierlich betriebenen Meerwasserentsalzungsanlagen wie z.B. windkraftgetriebenen Meerwasserentsalzungsanlagen geeignet.

## Beschreibung

**Verdampferrohr für eine Meerwasserentsalzungsanlage**

5

Die Erfindung betrifft ein Verdampferrohr für eine Meerwasserentsalzungsanlage, mittels welcher insbesondere in Gebieten mit geringen Süßwasserreserven Trink- bzw. Brauchwasser aus dem Meer gewonnen wird.

10

In der Praxis haben sich verschiedene Verfahren zur Meerwasserentsalzung mittels Destillation durchgesetzt. Die hierfür eingesetzten, bekannten Anlagen sind: mehrstufige Entspannungsverdampfungs- oder multi-stage-flash-Anlagen (MSF), Multieffect-Anlagen (ME), sowie mechanische und thermische Dampfverdichtungsanlagen (mechanical vapour compression (MVC), thermal vapour compression (TMC)). Bei all diesen Anlagen wird eine Mehrzahl von Verdampferrohren zum Verdampfen des Meerwassers sowie zur Rückgewinnung der Verdampfungsenergie eingesetzt, die typischerweise zu einem Verdampferrohrbündel von beispielsweise ca. 1000 Verdampferrohren zusammengefaßt sind. Dabei sind diese Verdampferrohre entweder stehend, wie bei Fallfilmverdampfern, oder auch

20

liegend eingebaut.

25

Im Betrieb wird die Rohraußen- oder Rohrinnen-seite mit einem Meerwasserfilm beaufschlagt und der hierbei erzeugte Dampf zur anderen Rohrseite geführt, wo er unter etwas höherem Druck und daher auch bei höherer Temperatur kondensiert. Die dabei freigewordene Kondensationswärme wird durch die Rohrwandung hindurch auf die andere Rohrseite geleitet und führt dort zur Verdampfung einer entsprechenden Meerwassermenge aus dem Meerwasserfilm.

Aufgrund der Betriebsbedingungen müssen die Verdampferrohre in allen Anlagen sowohl gegen Meerwasser als auch gegen destilliertes Wasser beständig sein und dennoch einen guten Wärmedurchgang ermöglichen. In der Praxis haben sich bislang Verdampferrohre aus Aluminium-Legierungen sowie aus Legierungen mit Kupfer, Nickel und Eisen (CuNiFe-Rohre) durchgesetzt. Beide Materialien zeichnen sich durch eine gute Wärmeleitfähigkeit aus. Dabei sind Aluminiumrohre billiger, wobei sie jedoch nur bei Temperaturen bis maximal 60 - 70 °C wirtschaftlich und dauerhaft eingesetzt werden können. Bei CuNiFe-Rohren kann dagegen durch einen höheren Nickelanteil eine verbesserte Meerwasserbeständigkeit auch bei höheren Temperaturen erzielt werden. Mit steigendem Nickelanteil wächst jedoch auch der Preis dieser Verdampferrohre, worunter die Wirtschaftlichkeit der Meerwasserentsalzungsanlage insgesamt leidet. Die derzeit verwendeten Verdampferrohre haben ferner üblicherweise eine Wandstärke von 2 mm, was sich zwar positiv auf die Standzeit der Rohre auswirkt, aber wegen der Vielzahl der benötigten Rohre auch das Gewicht der gesamten Meerwasserentsalzungsanlage in erheblichen Maße bestimmt. Dies erhöht den Logistikaufwand für den Aufbau derartiger Meerwasserentsalzungsanlagen insbesondere in abgelegenen Gebieten wesentlich.

Ferner sind die Anforderungen an die Korrosionsfestigkeit besonders hoch, wenn derartige Meerwasserentsalzungsanlagen bei unterschiedlichen, nicht konstanten Betriebsbedingungen betrieben werden. Wie die praktischen Erfahrungen mit Anlagen gemäß der DE 36 13 871 A1 gezeigt haben, unterliegen sowohl Aluminium- als auch CuNiFe-Rohre in windkraftgetriebenen Dampfverdichtungsanlagen zur Meerwasserentsalzung einem erheblich schnelleren Korrosionsangriff als in entsprechenden stationär betriebenen Anlagen, bei denen die Energiezufuhr konstant ist. Interessanterweise erwies sich der korrosive Angriff bei CuNiFe-Rohren auf der Destillatseite als erheblich stärker wie auf der Meerwasserseite.

Zudem ist bei windkraftgetriebenen Dampfverdichtungsanlagen zur Meerwasserentsalzung auch die Gefahr der Belagsbildung auf den Verdampferrohren wesentlich größer als bei stationär betriebenen Anlagen, wie die Praxis ergeben hat. Dies begründet sich offensichtlich darin, daß die Verdampferrohre bei Windflauten und Schwachwindphasen trocken laufen. Die als Gegenmaßnahme in der Regel eingesetzten handelsüblichen Antiscalingmittel haben sich als nicht geeignet zur Lösung dieses Problems erwiesen, da sie die Belagsbildung nur unzureichend verzögern können. Eine wirksame Verhinderung von Kalkablagerungen ist derzeit nur durch ein Austreiben des Karbonats als Kohlendioxid mittels einer Säure vor der Verdampfung des Meerwassers möglich. Hieraus ergibt sich jedoch das weitere Problem, daß aufgrund von Fehlern in der Säuredosierung mit zu hoher Säurezugabe gerechnet werden muß, weshalb die Verdampferrohre auch bei niedrigen pH-Werten korrosionsfest sein müssen.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verdampferrohr für eine Meerwasserentsalzungsanlage derart weiterzubilden, daß es die Nachteile im Stand der Technik überwindet und auch für einen Einsatz in nicht kontinuierlich betriebenen Meerwasserentsalzungsanlagen geeignet ist.

Diese Aufgabe wird durch ein Verdampferrohr mit den Merkmalen des Anspruches 1 gelöst. So ist es erfindungsgemäß erstmals vorgesehen, daß es aus einem gegen Meerwasser beständigen und zugleich säurefesten Stahl ausgebildet ist, und daß es eine Wandstärke zwischen 0,1 mm und 0,5 mm aufweist.

Insbesondere nimmt die Erfindung somit erstmals Abstand von dem bislang vorherrschenden Vorurteil, daß Stahl nicht als Material für Verdampferrohre in Meerwasserentsalzungsanlagen geeignet sei. So wurde bisher lediglich in Betracht gezogen, daß nur spezielle hochlegierte Stähle die erforderliche Korrosionsfestigkeit bei den in Meerwasserentsalzungsanlagen vorherrschenden Bedingungen

aufweisen, wobei derartige Stähle üblicherweise eine sehr geringe Wärmeleitfähigkeit haben. Erfindungsgemäß wurde nun erkannt, daß es bei einer Verwendung eines derartigen Stahls jedoch möglich ist, die bislang vorgesehenen Wandstärken von wenigstens 2 mm deutlich zu reduzieren, ohne die Stabilität der Anordnung wesentlich zu beeinträchtigen. Damit wird der an sich gegebene Nachteil der geringeren Wärmeleitfähigkeit dieses Materials durch eine Verkürzung der Wärmeleitstrecke behoben. Zudem wurde im Zuge der Erfindung erkannt, daß der Wärmeübergang an den Oberflächen der Verdampferrohre auf den Dampf bzw. auf das Meerwasser eine wesentlich größere Rolle für die Wärmeübertragung vom Destillatdampf auf den Meerwasserfilm spielt als die Wärmeleitung durch die Rohrwandung.

Damit können nun für einen wirtschaftlichen Betrieb einer Meerwasserentsalzungsanlage erfindungsgemäß erstmals auch Verdampferrohre aus Stahl eingesetzt werden, woraus sich zudem eine wesentlich höhere Korrosionsbeständigkeit ergibt, als dies bei den herkömmlichen Verdampferrohren der Fall war. Da derartige Stähle zudem stabiler gegenüber niedrigen pH-Werten sind, können sie auch vorteilhafterweise bei Anlagen eingesetzt werden, in welchen Säure vor dem Verdampfungsvorgang zum Meerwasser zugegeben wird, wodurch eine Belagsbildung auf den Verdampferrohren zuverlässig verhindert werden kann. Das erfindungsgemäße Verdampferrohr eignet sich somit auch besonders gut für windkraftgetriebene Meerwasserentsalzungsanlagen.

Von weiterem Vorteil ist, daß Rohre aus derartigen Stählen zu einem wettbewerbsfähigen Preis erhältlich sind. Hierbei ist die Wandstärke des erfindungsgemäßen Verdampferrohres aufgrund der erforderlichen mechanischen Stabilität auf wenigstens etwa 0,1 mm beschränkt. Derartige sehr dünne Rohre eignen sich insbesondere für Anlagen, bei denen im Rohrrinnenraum ein höherer Druck herrscht

als auf der Außenseite, d. h. für Anlagen, bei denen das Destillat auf der Rohrin-  
nenseite kondensiert.

Aufgrund der vorteilhaften Festigkeitseigenschaften derartiger nichtrostender  
5 Stähle z.B. im Vergleich zu herkömmlichen CuNiFe-Werkstoffen können diese  
jedoch erfindungsgemäß auch bei Anlagen eingesetzt werden, bei denen im  
Rohrinnenraum ein geringerer Druck herrscht als auf der Außenseite. Dies ist ins-  
besondere bei Fallfilmverdampfern gegeben. Trotz der geringen Wandstärke kann  
erfindungsgemäß somit ein Einknicken eines Verdampferrohrs zuverlässig und auf  
10 Dauer vermieden werden.

Dabei ist es von weiterem Vorteil, daß sich das Gewicht des Verdampferroh-  
res und somit auch des Bündels an Verdampferrohren in einer Meerwasserentsal-  
zungsanlage aufgrund der erfindungsgemäß gering gewählten Wanddicke niedrig  
15 halten läßt.

Das erfindungsgemäße Verdampferrohr läßt sich somit wirtschaftlich bereit-  
stellen und einsetzen, und zeichnet sich insbesondere durch eine hohe Korrosions-  
festigkeit bei gutem Wärmedurchgang aufgrund der dünnen Wandung aus.

20

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der abhängigen  
Ansprüche.

So kann das Verdampferrohr aus Stahl mit der Werkstoffnummer 1.4565S  
25 nach DIN EN 10 088-2 (USA: ASTM/UNS S 34565) ausgebildet sein, was ein  
extrem meerwasserbeständiger Stahl ist. Dann erreichen auch sehr dünne Ver-  
dampferrohre eine ausreichende Standzeit von vielen Jahren. Dieser Werkstoff, der  
eine Zugfestigkeit  $R_m$  von 800 – 1000 N/mm<sup>2</sup> sowie eine Bruchdehnung von min-  
destens 30% und eine 0,2%-Dehngrenze  $R_p 0,2$  von mindestens 420 N/mm<sup>2</sup> zeigt,

- 6 -

trägt den Kurznamen X3CrNiMnMoNbN 23-17-5-3 und hat sich in praktischen Versuchen sehr bewährt.

5       Ferner hat es sich für die üblichen Anwendungsfälle als am geeignetsten erwiesen, wenn die Wandstärke des Verdampferrohrs zwischen 0,2 mm und 0,3 mm liegt. Eine derartige Wandstärke stellt einen guten Kompromiß zwischen den funktionalen Erfordernissen und der Handhabbarkeit derartiger Verdampferrohre dar.

10       Von weiterem Vorteil ist es, wenn das Verdampferrohr aus einem Blech geformt und durch Verschweißen hergestellt ist, da es dann besonders preisgünstig bereitgestellt werden kann. Derartige Stahlbleche bzw. -bänder lassen sich mit geringem technologischen Aufwand in der gewünschten Weise verformen und so verschweißen, daß sich die Rohrgestalt herstellen läßt. Hierbei können insbesondere bei der Anwendung eines automatischen Laserschweißverfahrens hochwertige  
15       Schweißnähte erzeugt werden, die eine mit dem Rohr vergleichbare Korrosionsfestigkeit aufweisen, so daß die Verbindungsstelle keine Schwachstelle am erfindungsgemäßen Verdampferrohr darstellt. Das erfindungsgemäße Verdampferrohr läßt sich somit noch kostengünstiger bereitstellen.

20

      Ferner kann ein Rohrende des Verdampferrohres mit einem aus der gleichen Stahlorte bestehenden Rohrboden verbunden sein. Dies hat den Vorteil, daß der zur Halterung und Führung der Verdampferrohre benötigte Rohrboden dann den gleichen Wärmeausdehnungskoeffizient wie das Verdampferrohr aufweist, und  
25       daß kein unterschiedliches Korrosionspotential vorliegt, wie dies bei Verwendung von zwei unterschiedlichen metallischen Werkstoffen der Fall wäre, welche in der Spannungsreihe der Metalle ein unterschiedliches Normalpotential aufweisen würden. In praktischen Versuchen hat es sich als besonders vorteilhaft und wirtschaftlich erwiesen, wenn das Rohrende mit dem Rohrboden durch Verschweißen,

vorzugsweise durch Laserschweißen, verbunden ist. Hierbei kann das Rohrende bei einer ausreichenden Wandstärke auch direkt mit dem Rohrboden verschweißt werden. Dabei ist ferner zu berücksichtigen, daß der Rohrboden an den Enden der Verdampferrohre nicht nur der Halterung dient, sondern daß durch diesen Rohrboden bzw. mehrerer dieser Rohrböden auch Räume für das verdampfende Meerwasser und das kondensierte Destillat voneinander getrennt werden. Hierzu sind herkömmlich Kunststoff- oder Gummidichtungen zwischen einem Verdampferrohr und der Aussparung im Rohrboden erforderlich, welche aufgrund der erfindungsgemäß vorgesehenen Verschweißung dieser Komponenten entfallen können. Zudem hat sich in praktischen Versuchen gezeigt, daß eine derartige Verschweißung eine bessere und zuverlässigere Trennung der Bereiche für Meerwasser und Destillat herstellt, als dies durch Dichtungen der Fall war. So kann die Störanfälligkeit auf diese Weise wesentlich herabgesetzt werden. Ein weiterer Vorteil liegt darin, daß durch den Wegfall der Vielzahl an benötigten Dichtungen entsprechend der Anzahl an Verdampferrohren in der Meerwasserentsalzungsanlage auch ein erheblicher Preisvorteil erzielbar ist.

Von weiterem Vorteil ist es, wenn der Querschnitt des Verdampferrohrs von einer Kreisform abweicht. Mit anderen Worten können die Schnittlinien bei einem zur Rohrachse senkrechten oder schrägen Schnitt zumindest stellenweise von der Kreisform bzw. einer Ellipsenform abweichen, wobei dies durch Verformung der Rohre, z. B. durch Einprägung von umlaufenden Wendeln erfolgen kann. Hierdurch werden im Fallfilm zusätzlich Turbulenzen erzeugt, wodurch sich der Wärmeübergang verbessern läßt. Eine weitere Verbesserung des Wärmeübergangs resultiert zudem aus der mit der Verformung verbundenen Vergrößerung der Oberfläche der Rohrwandung. Durch derartige Verformungen des Verdampferrohrs kann der Fallfilm zudem aus der durch die Schwerkraft bedingten Richtung abgelenkt werden, was ein Abreißen des Flüssigkeitsfilms erschwert und die Gefahr einer Ausbildung trockener, vom Fallfilm nicht benetzter Stellen vermindert.



Auf diese Weise läßt sich der Wirkungsgrad einer Meerwasserentsalzungsanlage erhöhen und zudem ist auch die Gefahr der Ausbildung von Ablagerungen auf der Wandung eines Verdampferrohres reduziert. Hierbei wird die Verformung der Rohrwandung vorzugsweise so durchgeführt, daß die Montage der Verdampferrohre und ihre Verbindung mit dem Rohrboden nicht erschwert wird. Dies ist z. B. dann der Fall, wenn der Rohrdurchmesser im verformten Bereich nirgends größer ist, als der Durchmesser des nicht verformten Rohres, und/oder wenn die zur Verbindung mit den Rohrböden vorgesehenen Bereiche nicht verformt werden.

Das erfindungsgemäße Verdampferrohr läßt sich somit in hervorragender Weise in den bekannten Meerwasserentsalzungsanlagen anwenden und gegebenenfalls auch nachrüsten. Ferner trägt es dazu bei, um den Wirkungsgrad, Zuverlässigkeit und Dauerhaftigkeit einer derartigen Meerwasserentsalzungsanlage wesentlich zu verbessern.

15

Die Erfindung läßt neben der aufgezeigten Ausführungsform weitere Gestaltungsansätze zu.

So kann anstelle des Stahls mit Werkstoffnummer 1.4565S nach DIN EN 10 088-2 auch ein anderer Stahl mit ähnlichen Eigenschaften angewendet werden. Beispiele hierfür sind die Stähle mit der Werkstoffnummer nach DIN EN 10 088-2 von 1.4439 (X2CrNiMoN 17-13-5, USA: UNS S31726) und 1.4539 (X1NiCrMoCu 25-20-5, USA: UNS N08904). Zudem können auch austenitische rostfreie Stähle wie die sog. 6% Mo-Stähle, zu denen AL-6XN, 1925 hMo SB8, 25-6Mo, 254 SMO, 20Mo-6, YUS 170, 2419 MoN, B66, 3127 hMo, 654 SMO u.a. zählen (UNS-Nr: N08367, N08932, N08926, S31254, N08026, N08925, S31266, N08031, S32654), angewendet werden. Überdies kann auch Titan oder eine Titanlegierung als Werkstoff für das Verdampferrohr verwendet werden.

- 9 -

Ferner kann das Verdampferrohr auch durch Strangpressen oder dgl. hergestellt werden.

### Ansprüche

1. Verdampferrohr für eine Meerwasserentsalzungsanlage, dadurch  
5 gekennzeichnet, daß es aus einem gegen Meerwasser beständigen und  
zugleich säurefesten Stahl ausgebildet ist, und daß es eine Wandstärke  
zwischen 0,1 mm und 0,5 mm aufweist.
2. Verdampferrohr nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß es aus Stahl  
10 mit der Werkstoffnummer 1.4565S nach DIN EN 10 088-2 ausgebildet ist.
3. Verdampferrohr nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß es  
eine Wandstärke zwischen 0,2 mm und 0,3 mm aufweist.
- 15 4. Verdampferrohr nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet,  
daß es aus einem Blech geformt und durch Verschweißen hergestellt ist.
5. Verdampferrohr nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet,  
daß ein Rohrende des Verdampferrohrs mit einem aus der gleichen  
20 Stahlsorte bestehenden Rohrboden, insbesondere durch Verschweißen,  
verbunden ist.
6. Verdampferrohr nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet,  
daß der Querschnitt des Verdampferrohrs von einer Kreisform abweicht.